基于质心参照系的物理理论 I. 粒子流场原理

梁忠诚[1)†]

1) (南京邮电大学 电子与光学工程学院, 南京 210023)

本文介绍了一种新颖的粒子流场理论。该理论的基础不是质点模型和惯性参照系，而是弹性粒子（实粒子）模型和质心参照系。本文应用矢量分析在运动粒子空间中导出了一组完整的流场方程。它揭示了质心系中电荷和质量之间的可比关系，从而融合了引力和电磁相互作用。该理论证明量子随机性源于质心系中时间和空间测量的不确定性，这种不确定性可以通过测量原理加以消除，从而得出确定性的结论。本文所提出的理论为各种基本物理问题提供了独特的解决方案和诠释基础，如物体的结构、暗物质的存在、光的本性和黑体辐射现象。尤其是宇宙电子流体的存在挑战了人们传统认知，并对现有物理定律产生重大影响。

关键词: 质心参照系，粒子流场，弹性粒子，量子不确定性，电子流体，统一场论.

PACS: 12.10.-g, 95.10.Jk, 47.10. - g, 04.20.Cv

1 引　言

描述物体的运动必须选择适合的参照系，采用不同参照系往往导致不同的理论框架。众所周知，托勒密的天文学采用地心参照系，哥白尼的天文学采用日心参照系。牛顿力学体系最初建立在一个虚构的绝对参照系(绝对空间)中，后来被转移到目前流行的惯性参照系框架。十九世纪初，爱因斯坦通过改变同时性定义发明了空间-时间参照系(空时参照系)，由此创建了相对论，引发了物理学从经典范式到现代范式的转换。由于相对论将时间和空间交织为一体，其反直觉的观点和结论很难被常人所理解。

牛顿认为惯性是物体的固有属性，惯性使物体保持匀速直线运动或静止状态。在惯性参照系中，一个不受外力影响的物体将保持其惯性运动状态[1]。然而，在引力场中物体没有纯粹的惯性运动，也找不到一个全局惯性系。为了解决这个问题，爱因斯坦通过等效原理将引力作用变换为弯曲的空时背景，并基于局域惯性系建立了广义相对论[2]。既然引力场中没有匀速直线运动，就不必执着于惯性概念和惯性参照系；

† 通信作者. E-mail: zcliang@njupt.edu.cn

惯性系中粒子的运动具有简单的形式，但是引力理论只有在非惯性系中才具有完备的结构。为了破除惯性原理的束缚和相对论反直觉的迷思，作者提出了一种基于弹性粒子(实粒子）模型和质心参照系的新理论[3−8]。这个不同于经典和现代物理学的理论是一个公理化体系，它重新定义了物理学的五个基本概念:物体、粒子、运动、空间和时间。本文利用质心参照系发展了流场理论，阐明了控制真实粒子流体运动的规律，并对物理学中的几个基础问题提供了独到的分析和诠释。

在物理学史上，经典力学、电动力学、相对论力学和量子力学是四个不同的理论框架。从第一性原理(the first principle thinking)出发，基于质心参照系的实粒子理论引入了一种新的范式，它将几个理论融为一体，形成了一个独特的话语体系。为了方便和改善交流，读者需要了解一些新颖的概念以及更新的术语，以缓解不可通约性[9]造成的观念冲突。

2 流场基础

2.1 基本公设

实粒子理论有五条公设。I. 物体(objects)：物体由有限的、离散的实粒子构成，具有层次嵌套结构。II. 实粒子(real particles)：实粒子是具有质量、体积和弹性的物体。弹性是物体产生和恢复形变的性质。III. 实空间(real space)：实空间是物体存在的维度。没有空间，就不存在物体。实空间是三维欧几里德空间，其中弥漫运动的粒子。IV. 实时间(real time)：实时间是物体运动的维度。没有时间，就没有运动。实时间是单向不可逆的。V. 运动(motion)：实空间中的物体相互作用，运动不止。

实粒子理论认为，离散的粒子是构成物体的原始成分，连续的场是人类发明的描述离散粒子系统的一种数学形式。牛顿力学中的粒子是质点(point mass)。质点只有质量，没有空间延展，是真实粒子的简化模型。实粒子不仅有质量，还有空间结构。构成物体的粒子层次嵌套、相互关联、持续运动。实粒子理论的颠覆性在于用实粒子模型取代质点模型。

物体的运动包含三种模式：平动、转动和振动。平动模是指物体质心(barycenter)的位置移动，转动模是物体围绕其质心的定点旋转，振动模是物体内粒子相对于质心的径向振荡。每种模式有三个自由度，一个物体共有九个运动自由度。物体质心（质点）的平动模称为轨道运动，周期性轨道运动可以分解为转动态和振动态。转动态是质点在轨道平面内的圆周运动，振动态是质点相对于圆周的振动。振动态又包含相对于轨道面的径向振荡和轴向振荡。以上关于物体运动的观点是以质心参照系为基础的。

2.2 基本概念

2.2.1 可测空间

根据公设III和公设V，实空间充满运动的粒子(物体)，没有绝对的虚空。如图1a所示，实空间可以划分为一个可测空间(measurable space)和一个不可测空间(unmeasurable space)。从观察点O 以速率c向四周发送一个信号，经过时间t_m后，该信号到达一个半径为$R_m = c \cdot t_m$的球面S_m。S_m内的空间($r_0 \leqslant R_m$)称为可测空间，S_m外的空间($r_0 > R_m$)称为不可测空间。

观察点O是确定时空结构的参照点。可测空间的时间同步协议规定如下：从O点发送$t_0 = 0$的同步信号，与O点距离为$r_0(r_0 \leqslant R_m)$处的时间设定为$t = r_0/c$。现实中采用电磁波传送信号，电磁波的速率为$c = 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$。

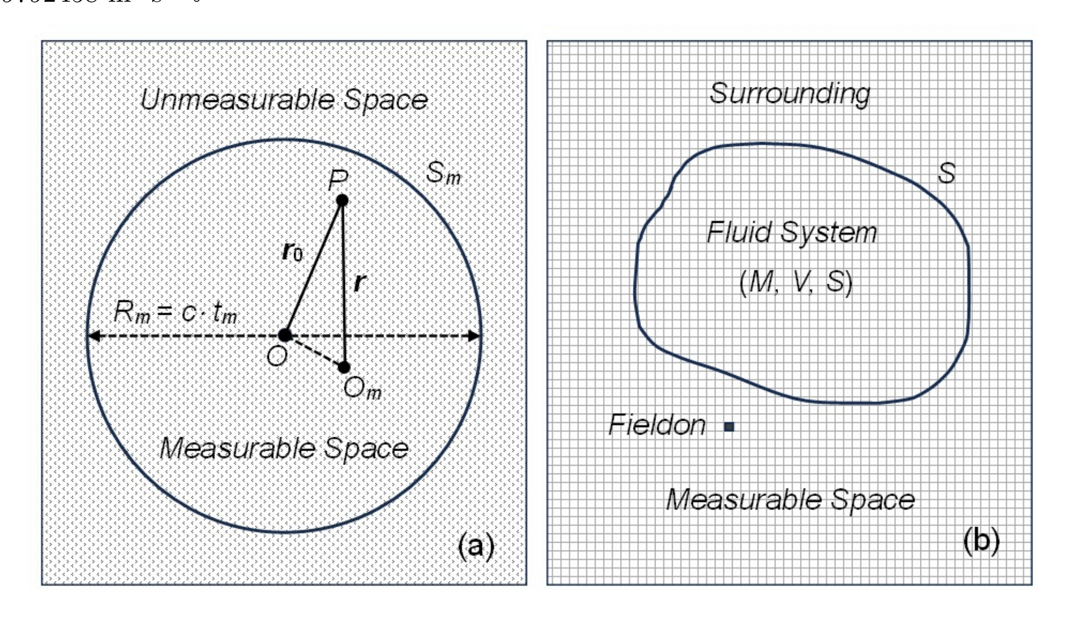


图1 (a) 可测空间与不可测空间。(b) 系统与环境。空胞和场元。

Fig. 1 (a) Measurable space and unmeasurable space. (b) System and surrounding. Space cells and fieldsons.

可测空间是一个经过时间同步的、以观察者为中心的三维球形实空间。定义可测空间的目的是限制定量研究的空间范围，从而引入质心参照系和真实量概念。采用质心参照系的流场理论具有有限性和量子化特征。

2.2.2 流体系统

流体系统定义为可测空间的子集。如图1b所示，设S是可测空间内的一个任意闭合曲面，S包含的空间称为流体系统(fluid system)，S以外的空间称为流体环境(surrounding)。系统与环境之间可以通过界

面S进行动量和能量的交换。

设流体粒子的质量是M_i，粒子总数为N，则流体具有总质量$M=\sum_{i=1}^{N}M_i$。将流体系统视为一个具有质量、体积和形变属性的物体，其空间状态可以用位态、姿态和形态描述[5]。位态表明空间位置，姿态描述姿势方位，形态勾勒形体轮廓。

物体的位态由质心(barycenter)的位矢表征。将物体视为质点系，在以O为原点的笛卡尔坐标系中，若物体粒子的位矢是$\boldsymbol{r}_i=(x_i,y_i,z_i)$，则物体质心的位矢$\boldsymbol{r}_c=(x_c,y_c,z_c)$可以表示为

$$x_c=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{N}M_ix_i,\qquad y_c=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{N}M_iy_i,\qquad z_c=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{N}M_iz_i. \tag{1}$$

物体的形态和姿态由惯量矩阵I确定[10]

$$I=\begin{pmatrix} I_{11} & -I_{12} & -I_{13}\\ -I_{21} & I_{22} & -I_{23}\\ -I_{31} & -I_{32} & I_{33}\end{pmatrix}. \tag{2}$$

惯量矩阵的分量按下式计算

$$I_{11}=\sum_{i=1}^{N}M_i(y_i^2+z_i^2),\qquad I_{22}=\sum_{i=1}^{N}M_i(z_i^2+x_i^2),\qquad I_{33}=\sum_{i=1}^{N}M_i(x_i^2+y_i^2)$$
$$I_{12}=I_{21}=\sum_{i=1}^{N}M_ix_iy_i,\quad I_{13}=I_{31}=\sum_{i=1}^{N}M_ix_iz_i,\quad I_{23}=I_{32}=\sum_{i=1}^{N}M_iy_iz_i.$$

惯量矩阵是三阶实对称矩阵。根据线性代数理论[11]，惯量矩阵有三个正的特征值$\{I_1,I_2,I_3\}$和三个正交的特征向量$\{\boldsymbol{e}_1,\boldsymbol{e}_2,\boldsymbol{e}_3\}$。特征值称为主惯量，用于表征物体的形态；特征向量代表惯量主轴，用于表征物体的姿态。物体的三种运动模式(平动、转动和振动)分别对应位态、姿态和形态的时间变化。

将流体系统视为一个物体是一种整体观点。为了刻画流体内部粒子的运动并包含与外部环境的相互作用，必须采用场论观点。本文基于可测空间的质心参照系建立实粒子流场理论。

2.2.3 参照系

以O为原点、S_m为边界的参照系称为观测参照系(observer reference frame)。观测参照系中的时间是t，空间位置P由位矢$\boldsymbol{r}_0=\overrightarrow{OP}$指定。通过观测参照系可以确定可测空间的质心$O_m$。以$O_m$为原点的参照系称为质心参照系(barycenter reference frame)。质心参照系中的时间是t，空间位置P由位矢$\boldsymbol{r}=\overrightarrow{O_mP}$指定。因为质量分布不均匀，可测空间的质心$O_m$与观测点$O$不重合，如图1a所示。

在质心参照系中可以建立笛卡尔坐标系。可测空间的惯量矩阵有三个正交的特征向量，以此作为笛卡尔坐标轴。质心参照系与观测参照系相关联，而观测参照系局限于可测空间，因此，它们都是有界参照系。传统的参照系(包括全局参照系和局域参照系)是无界参照系。引入有界参照系有利于实现流场的量

化，方便找出流体运动规律。

2.2.4 量子化

因为物体不停地运动，可测空间质心O_m的位置具有不确定性(uncertainty)。若在时间间隔$\Delta t = t_s$内质心位移了$\Delta r_0 = r_s$，那么观测者看到的位矢$\boldsymbol{r}$的长度具有不确定性r_s。以t_s为时间单位，r_s为空间长度单位，可以将质心参照系中的时间和位矢分别表示为

$$t = \tilde{t} \cdot t_s, \qquad \boldsymbol{r} = \tilde{\boldsymbol{r}} \cdot r_s. \tag{3}$$

t和$\boldsymbol{r}$分别称为实时间和实位矢，$\tilde{t}$和$\tilde{\boldsymbol{r}}$分别是时间和位矢的数值。

因为t_s和r_s是不确定的，所以它们是时间和空间不可分割的单位。根据公设IV，我们规定实时间的流动方向为

$$t = \tilde{t} \cdot t_s, \qquad \tilde{t} = 0, 1, 2, \cdots, k, k+1, \cdots \tag{4}$$

即实时间的数值取自然数序列以体现时间的不可逆性。

可测空间的位矢可以用笛卡尔分量表示为

$$\boldsymbol{r} = \tilde{\boldsymbol{r}} \cdot r_s = (\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}) \cdot r_s; \quad \{\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}\} = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots \tag{5}$$

这里，$\tilde{\boldsymbol{r}} = (\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})$称为位矢的数字，数字分量$\{\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}\}$必须是整数。以上我们利用质心位置的不确定性实现质心参考系中时间和空间长度的量子化。

2.2.5 场元

如图1b所示，可测空间的特征向量和长度单位确定了一个空间阵列，阵列的体积单位$V_s = (r_s)^3$称为空胞(space cells)，空胞内的粒子集合称为场元(fieldsons)。实空间公设III要求空胞是非空的，即场元必须包含粒子，具有质量。体积为$V = \tilde{V} \cdot V_s$的流体系统包含$\tilde{V}$个场元。

若$\tilde{t} = k$时刻位于$\boldsymbol{r}_\alpha(k)$的场元质量是$M_\alpha(k)$，定义k时刻场元的速度为

$$\boldsymbol{v}_\alpha(k) = \frac{\boldsymbol{r}_\alpha(k+1) - \boldsymbol{r}_\alpha(k)}{t_s} = \tilde{\boldsymbol{v}}_\alpha(k) \cdot v_s; \qquad v_s = \frac{r_s}{t_s}, \quad \alpha = 1, 2, \cdots, \tilde{V}. \tag{6}$$

对所有场元求和可以得到流体的总质量和总动量

$$M(k) = \sum_{\alpha=1}^{\tilde{V}} M_\alpha(k), \qquad \boldsymbol{p}(k) = \sum_{\alpha=1}^{\tilde{V}} M_\alpha(k) \boldsymbol{v}_\alpha(k). \tag{7}$$

2.3 基本原理

2.3.1 真实量

质心参照系中时间和空间长度的单位是可变的。推而广之，质心参照系中物理量的单位都是可变量。用可变单位表示的物理量$\boldsymbol{q}$称为真实量(actual quantity)，真实量定义为[3]

$$\boldsymbol{q} = \tilde{\boldsymbol{q}} \cdot q_s \qquad (\boldsymbol{q} \in \mathbb{R}, \quad \tilde{\boldsymbol{q}} \in \mathbb{Q}, \quad q_s \in \mathrm{C_U}\mathbb{Q}). \tag{8}$$

其中$\tilde{\boldsymbol{q}}$称为数字因子(digit factor)，用颚化符$\sim$标注，q_s称为标度因子(scale factor)，用下标s标注。数字是物理量的数值，标度是物理量的标识(identification) 和测度(measure)。数字是标量或矢量，标度只能是标量。标度是物理量不可分割的部分，数字只有相对意义，没有绝对意义。真实量的数字用有理数表示，标度属于有理数的补集，作为标度与数字直积的真实量是实数的集合。

2.3.2 测量原理

对于真实量$\{x, y, z\}$，如果存在以幂积形式定义的物理关系$z = f(x, y)$，那么必然有如下约束条件[8]

$$z = f(x, y) = \tilde{z} \cdot z_s \iff \tilde{z} = f(\tilde{x}, \tilde{y}) \ \wedge \ z_s = f_s. \tag{9}$$

上式中$\tilde{z} = f(\tilde{x}, \tilde{y})$称为关系不变性(relation invariance)，$z_s = f_s$称为标度协变性(scale covariance)。关系不变性要求数字关系与函数定义式保持一致，标度协变性要求标度按照函数关系进行变化。

经典物理学采用单位表示物理量，称为单位制；实粒子理论采用标度表示物理量，称为标度制。两者的区别在于：单位不能连续变化，标度可以连续变化。标度协变性曾被称为测量相对性原理(the principle of measuring relativity)[12]和客观性原理(the principle of objectivity)，基本思想都是允许测量单位在物理约束下连续变化。本文将关系不变性和标度协变性统称为测量原理。测量原理是实粒子理论的核心思想和数学基础。

2.3.3 标度系统

采用连续可变标度作为物理单位可以理解为在高维的数学空间研究低维的物理学问题。在一个实粒子系统中，如果有P个良好定义的物理量，那么其数学参数空间的维度是$2P$。受到物理关系的约束，独立标度(标度基)的数目只有三个，其它标度(导出标度)都可以从标度基导出。标度制亦或单位制是区别现代物理学与经典物理学的重要标志。

经典力学采用单位制，基本单位(SI制)有：质量$M_u = \mathrm{kg}$(kilogram 千克)，长度$r_u = \mathrm{m}$ (meter 米)，时间$t_u = \mathrm{s}$ (second 秒)。导出单位有：速度$v_u = r_u/t_u = \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，动量$p_u = M_u v_u = \mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}}$，角动

量$h_u = p_u r_u = \mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{s}^{-1}$，能量$E_u = M_u v_u^2 = \mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{s}^{-2}$。SI制的基本单位共有七个，都有严格规定的标准，不能连续变化。

量子力学事实上采用标度制，其标度基为：速度$v_s = c = 299792458\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ (光速常数)，角动量$h_s = h = 6.6260693\times10^{-34}\mathrm{J}\cdot\mathrm{s}$(普朗克常数)，频率$\nu_s = \nu$。导出标度有：时间$t_s = 1/\nu$，长度$r_s = c/\nu = \lambda$，动量$p_s = h_s/r_s = h/\lambda$，质量$M_s = h_s/(r_s v_s) = h/(\lambda c)$，能量$E_s = M_s v_s^2 = h\nu$。因为标度基中的频率标度是变量，所以导出标度都是变量。因为c是常数，时空标度满足约束条件$c = r_s/t_s$。因为h是常数，约束条件$h = r_s p_s = E_s t_s$事实上是海森堡不确定关系。可见海森堡不确定关系根源于质心参照系中时间和空间标度的不确定性。

相对论力学也体现了标度制思想，其标度基为：质量M_s，时间t_s，速度$v_s = c$ (光速常数)。相对论标度中只有c是常数，其余都是变量。相对论假设光速不变，实质是采用c作为速度的标度。$r_s = ct_s$表明，减小时间单位必须同时减小空间长度单位，表现为钟慢尺缩。$E_s = M_s c^2$表明，增大质量单位必须同时增大能量单位。相对论的质能关系是标度关系，并非质量与能量相互转化。

2.3.4 运算规则

测量原理决定了真实量的运算规则。

(1) 加减法

$$z = x \pm y = (\tilde{x} \pm \tilde{y})\cdot x_s; \qquad \tilde{z} = \tilde{x} \pm \tilde{y}, \quad x_s = y_s = z_s.$$

(2) 乘法

$$z = xy = (\tilde{x}\tilde{y})\cdot(x_s y_s); \qquad \tilde{z} = \tilde{x}\tilde{y}, \quad z_s = x_s y_s.$$

(3) 除法

$$z = \frac{y}{x} = \frac{\tilde{y}}{\tilde{x}}\cdot\frac{y_s}{x_s}; \qquad \tilde{z} = \frac{\tilde{y}}{\tilde{x}}, \quad z_s = \frac{y_s}{x_s}.$$

(4) 真微分

$$z = z(x) = \tilde{z}(x)\cdot z_s, \quad \mathrm{d}x = x_s;$$

$$\mathrm{d}z = z(x+x_s) - z(x) = [\tilde{z}(x+x_s) - \tilde{z}(x)]\cdot z_s = \mathrm{d}\tilde{z}\cdot z_s, \quad \mathrm{d}\tilde{z} = \tilde{z}(x+x_s) - \tilde{z}(x).$$

(5) 真导数

$$\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}x} = \frac{\mathrm{d}\tilde{z}\cdot z_s}{x_s} = \mathrm{d}\tilde{z}\cdot\frac{z_s}{x_s}; \qquad \left(\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}x}\right)_d = \mathrm{d}\tilde{z}, \quad \left(\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}x}\right)_s = \frac{z_s}{x_s}.$$

(6) 真积分

$$x_i = x_0 + (i-1)x_s, \qquad \mathrm{d}x = x_s;$$
$$Z = \int_{x_0}^{x_n} z(x)\,\mathrm{d}x = x_s \sum_{i=1}^{n} z(x_i) = (x_s z_s)\cdot \sum_{i=1}^{n} \tilde{z}(x_i);$$
$$Z_s = x_s z_s, \qquad \tilde{Z} = \sum_{i=1}^{n} \tilde{z}(x_i).$$

(7) 数字函数

$$\mathrm{e}^x = \mathrm{e}^{\tilde{x}\cdot x_s} = \mathrm{e}^{\tilde{x}}; \qquad x_s = 1.$$

$$\ln x = \ln(\tilde{x}\cdot x_s) = \ln\tilde{x}; \qquad x_s = 1.$$

$$\sin x = \sin(\tilde{x}\cdot x_s) = \sin\tilde{x}; \qquad x_s = 1.$$

3 流场方程

3.1 密度场

若$\boldsymbol{r}_\alpha(t)$处场元的质量是$M_\alpha(t)$，动量是$\boldsymbol{p}_\alpha(t)$，则场元的质量密度和动量密度分别为

$$\rho_\alpha(t) \;:=\; \frac{M_\alpha(t)}{V_s} = \tilde{\rho}_\alpha(t)\cdot\rho_s; \qquad \tilde{\rho}_\alpha(t) = \tilde{M}_\alpha(t), \quad \rho_s = \frac{M_s}{V_s}. \tag{10a}$$
$$\boldsymbol{J}_\alpha(t) \;:=\; \frac{\boldsymbol{p}_\alpha(t)}{V_s} = \tilde{\boldsymbol{J}}_\alpha(t)\cdot J_s; \qquad \tilde{\boldsymbol{J}}_\alpha(t) = \tilde{\boldsymbol{p}}_\alpha(t), \quad J_s = \frac{p_s}{V_s}. \tag{10b}$$

若V_s足够大，每个空胞容纳足够多的粒子，则流场的密度分布趋于连续，即

$$\rho_\alpha(t) \to \rho(\boldsymbol{r},t) = \tilde{\rho}(\boldsymbol{r},t)\cdot\rho_s, \qquad \boldsymbol{J}_\alpha(t) \to \boldsymbol{J}(\boldsymbol{r},t) = \tilde{\boldsymbol{J}}(\boldsymbol{r},t)\cdot J_s. \tag{11}$$

这时流场的速度可以用质量密度和动量密度表示为

$$\boldsymbol{v}(\boldsymbol{r},t) = \boldsymbol{J}(\boldsymbol{r},t)/\rho(\boldsymbol{r},t). \tag{12}$$

存在密度场$\{\rho, \boldsymbol{J}\}$是构建一个完备的实粒子场论的充分必要条件。

3.2 连续性定理

设有一个系统量$\boldsymbol{Z}(t)$，其密度场是$\boldsymbol{z}(\boldsymbol{r},t)$，那么$\boldsymbol{Z}(t)$的时间微商是[6]

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{Z}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left[\int_V \boldsymbol{z}(\boldsymbol{r}',t)\,\mathrm{d}V'\right] := \int_V \frac{D\boldsymbol{z}}{Dt}\,\mathrm{d}V' = \dot{\boldsymbol{Z}}(\delta\boldsymbol{z}) + \dot{\boldsymbol{Z}}(\delta V). \tag{13}$$

我们将$D\boldsymbol{z}/Dt$称为密度场$\boldsymbol{z}$的运动导数(motion derivative)。$\dot{\boldsymbol{Z}}(\delta\boldsymbol{z})$是只改变密度不改变体积引起的$\boldsymbol{Z}$变化

率，$\dot{\boldsymbol{Z}}(\delta V)$是只改变体积不改变密度引起的$\boldsymbol{Z}$变化率，即

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{Z}}(\delta \boldsymbol{z}) &= \int_V \frac{\partial \boldsymbol{z}}{\partial t}\,\mathrm{d}V' = \frac{1}{t_s}\int_V \left[\boldsymbol{z}(\boldsymbol{r}', t+t_s) - \boldsymbol{z}(\boldsymbol{r}', t)\right]\,\mathrm{d}V', &\text{(14a)}\\ \dot{\boldsymbol{Z}}(\delta V) &= \frac{1}{t_s}\int_{\delta V} \boldsymbol{z}(\boldsymbol{r}', t)\,\mathrm{d}V'. &\text{(14b)}\end{aligned}$$

系统边界上的体积元可以用面积元表示为$\mathrm{d}V' = (\boldsymbol{v}t_s)\cdot\,\mathrm{d}\boldsymbol{S}'$，故可借助面积分计算$\dot{\boldsymbol{Z}}(\delta V)$。

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{Z}}(\delta V) &= \frac{1}{t_s}\int_{\delta V} \boldsymbol{z}(\boldsymbol{r}', t)\,\mathrm{d}V' = \frac{1}{t_s}\oint_S \boldsymbol{z}\,(\boldsymbol{v}t_s)\cdot\,\mathrm{d}\boldsymbol{S}'\\ &= \oint_S \boldsymbol{z}\boldsymbol{v}\cdot\,\mathrm{d}\boldsymbol{S}' = \int_V \nabla\cdot(\boldsymbol{z}\boldsymbol{v})\,\mathrm{d}V',\end{aligned} \tag{15}$$

上式最后一步应用了矢量积分的高斯定理将面积分变回体积分。将(14a)和(15)代入(13)，有

$$\int_V \frac{D\boldsymbol{z}}{Dt}\,\mathrm{d}V' = \int_V \left[\frac{\partial \boldsymbol{z}}{\partial t} + \nabla\cdot(\boldsymbol{z}\boldsymbol{v})\right]\,\mathrm{d}V'. \tag{16}$$

因为系统的体积V和表面S是任意的，所以密度场的运动导数为

$$\frac{D\boldsymbol{z}}{Dt} = \frac{\partial \boldsymbol{z}}{\partial t} + \nabla\cdot(\boldsymbol{z}\boldsymbol{v}). \tag{17}$$

运动导数被称为流场的连续性定理(continuity theorem)。流体动力学理论中运动导数又称为物质导数和随体导数[10]。

如果$D\boldsymbol{z}/Dt = 0$，则$\mathrm{d}\boldsymbol{Z}/\,\mathrm{d}t = 0$，这时$\boldsymbol{Z}$是系统守恒量。实粒子场允许系统的体积和形状改变，但要求系统的总质量M守恒，所以质量密度ρ的运动导数为零。

$$\frac{D\rho}{Dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\boldsymbol{v}) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla\cdot\boldsymbol{J} = 0. \tag{18}$$

3.3 卷积场

密度场在系统空间的卷积称为卷积场(convolution fields)，它包括质量卷积Φ和动量卷积$\boldsymbol{A}$。

$$\begin{aligned}\Phi(\boldsymbol{r}, t) &= \frac{-1}{\phi}\left[\rho(\boldsymbol{r}, t)\circledast\left(\frac{1}{|\boldsymbol{r}|}\right)\right] = \frac{-1}{4\pi\phi_s}\int_V \frac{\rho(\boldsymbol{r}', t)}{r}\,\mathrm{d}V';\quad \Phi_s = c^2,\quad \phi_s = \frac{m_s}{c^2\, r_s}. &\text{(19a)}\\ \boldsymbol{A}(\boldsymbol{r}, t) &= \alpha\left[\boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}, t)\circledast\left(\frac{1}{|\boldsymbol{r}|}\right)\right] = \frac{\alpha_s}{4\pi}\int_V \frac{\boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}', t)}{r}\,\mathrm{d}V';\quad A_s = c,\quad \alpha_s = \frac{r_s}{m_s}. &\text{(19b)}\\ \phi &= 4\pi\phi_s,\quad \alpha = \alpha_s/(4\pi);\qquad \phi\alpha = \phi_s\alpha_s = c^{-2}. &\text{(19c)}\end{aligned}$$

其中$r = |\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}'|$，$\circledast$是卷积符号。$\phi$和$\alpha$分别称为质量卷积系数(质卷系数)和动量卷积系数(动卷系数)。卷积系数的数字是常数，公式(19c)是系数约束关系。卷积运算有两个效果：一是将密度场转换为光滑函数，保证卷积场各阶导数的存在。二是将场元相互关联，引入相互作用。卷积场又称为势场，Φ是标量势，$\boldsymbol{A}$是矢量势。标量势和矢量势符号相反，表示吸引和排斥一对相反的作用。

3.4 作用场

卷积场的一阶空间导数称为作用场(action fields)。作用场包括梯度$\boldsymbol{G}$(gradient)，旋度$\boldsymbol{C}$(curl)和散度D(divergence)。

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{G}(\boldsymbol{r},t) &:= -\nabla\Phi = \frac{-1}{\phi}\int_V \frac{\rho(\boldsymbol{r}',t)\boldsymbol{r}}{r^3}\,\mathrm{d}V'; \qquad G_s = \frac{v_s}{t_s}. &\text{(20a)}\\
\boldsymbol{C}(\boldsymbol{r},t) &:= \nabla\times\boldsymbol{A} = \alpha\int_V \frac{\boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}',t)\times\boldsymbol{r}}{r^3}\,\mathrm{d}V'; \quad C_s = \frac{1}{t_s}. &\text{(20b)}\\
D(\boldsymbol{r},t) &:= \nabla\cdot\boldsymbol{A} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial\Phi}{\partial t} + D_0(t); \qquad D_s = \frac{1}{t_s}. &\text{(20c)}\\
D_0(t) &:= -\alpha\oint_S \frac{\boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}',t)\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}'}{r}. &\text{(20d)}
\end{aligned}$$

作用场公式推导如下：

公式(20a)

$$\nabla\Phi = \frac{-1}{\phi}\int_V \rho(\boldsymbol{r}',t)\cdot\nabla\left(\frac{1}{r}\right)\mathrm{d}V' = \frac{1}{\phi}\int_V \frac{\rho(\boldsymbol{r}',t)\boldsymbol{r}}{r^3}\,\mathrm{d}V'.$$

公式(20b)

$$\nabla\times\boldsymbol{A} = \alpha\int_V \nabla\times\left[\frac{\boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}',t)}{r}\right]\mathrm{d}V' = \alpha\int_V \nabla\left(\frac{1}{r}\right)\times\boldsymbol{J}\,\mathrm{d}V' = \alpha\int_V \frac{\boldsymbol{J}\times\boldsymbol{r}}{r^3}\,\mathrm{d}V'$$

公式(20c)

$$\begin{aligned}
D = \nabla\cdot\boldsymbol{A} &= \alpha\int_V \boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}',t)\cdot\nabla\left(\frac{1}{r}\right)\mathrm{d}V' = -\alpha\int_V \boldsymbol{J}\cdot\nabla'\left(\frac{1}{r}\right)\mathrm{d}V'\\
&= -\alpha\int_V\left[\nabla'\cdot\left(\frac{\boldsymbol{J}}{r}\right) - \frac{\nabla'\cdot\boldsymbol{J}}{r}\right]\mathrm{d}V' = -\alpha\int_V \nabla'\cdot\left(\frac{\boldsymbol{J}}{r}\right)\mathrm{d}V' - \alpha\int_V \frac{1}{r}\frac{\partial\rho}{\partial t}\,\mathrm{d}V'\\
&= -\alpha\oint_S \frac{\boldsymbol{J}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}'}{r} - \alpha\frac{\partial}{\partial t}\left(\int_V \frac{\rho}{r}\,\mathrm{d}V'\right) = D_0(t) + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\Phi}{\partial t}.
\end{aligned}$$

通过标度可以识别作用场的意义：梯度表示加速度，散度和旋度分别表示振动频率和转动频率。梯度和旋度都与距离的平方成反比，散度与质量势的变化率成正比。梯度公式与牛顿引力定律和库仑静电定律形式相同，旋度公式与静磁场毕奥-萨伐尔定律形式相同，散度公式与电磁场的洛伦茨规范形式相似。散度公式中的D_0是边界积分常数，它是系统与环境之间能量交换的约束条件。

3.5 能量场

每种作用拥有自己的能量场(energy fields)。能量场包括梯度能E_G，旋度能E_C和散度能E_D。

$$E_G = \frac{\phi_s}{2}(\boldsymbol{G}\cdot\boldsymbol{G}), \quad E_C = \frac{1}{2\alpha_s}(\boldsymbol{C}\cdot\boldsymbol{C}), \quad E_D = \frac{1}{2\alpha_s}D^2; \qquad E_s = \rho_s v_s^2. \tag{21}$$

能量场的标度是能量密度，它代表场元的能量。E_G, E_C, E_D分别是平动、转动和振动模式的能量。

3.6 力场

密度场与作用场的耦合给出力场(force fields)。力场包括梯度力$\boldsymbol{F}_G$、旋度力$\boldsymbol{F}_C$ 和散度力$\boldsymbol{F}_D$。

$$\begin{aligned} \boldsymbol{F}_G &= \rho \boldsymbol{G} = -\rho \nabla \Phi, && (22a) \\ \boldsymbol{F}_C &= \boldsymbol{J} \times \boldsymbol{C} = \rho \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{C}, && (22b) \\ \boldsymbol{F}_D &= \boldsymbol{J} D = \rho \boldsymbol{v} D. && (22c) \end{aligned}$$

力场的标度是$F_s = \rho_s (v_s/t_s)$。$\boldsymbol{F}_G$, $\boldsymbol{F}_C$和$\boldsymbol{F}_D$的形式分别与引力、洛伦兹力和阻尼力相同。

3.7 卷积方程组

卷积场的二阶空间导数有六个公式，它们构成卷积场方程组。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \boldsymbol{G} &= -\nabla^2 \Phi = -\frac{1}{\phi_s} \rho, && (23a) \\ \nabla \times \boldsymbol{G} &= -\nabla \times \nabla \Phi \equiv 0, && (23b) \\ \nabla \cdot \boldsymbol{C} &= \nabla \cdot (\nabla \times \boldsymbol{A}) \equiv 0, && (23c) \\ (\nabla \cdot \nabla) \boldsymbol{A} &= \nabla^2 \boldsymbol{A} = -\alpha_s \boldsymbol{J}, && (23d) \\ \nabla D &= \nabla (\nabla \cdot \boldsymbol{A}) = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \boldsymbol{G}}{\partial t}, && (23e) \\ \nabla \times \boldsymbol{C} &= \nabla \times (\nabla \times \boldsymbol{A}) = \alpha_s \boldsymbol{J} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial \boldsymbol{G}}{\partial t}. && (23f) \end{aligned}$$

卷积场方程中(23b)和(23c)是数学恒等式，其余方程推导如下：

方程(23a)

$$\nabla^2 \Phi = \frac{-1}{4\pi \phi_s} \int_V \rho(\boldsymbol{r}', t) \nabla^2 \left(\frac{1}{r} \right) \mathrm{d}V' = \frac{1}{\phi_s} \int_V \rho(\boldsymbol{r}', t) \delta(r - r') \, \mathrm{d}V' = \frac{\rho}{\phi_s}.$$

方程(23d)

$$\nabla^2 \boldsymbol{A} = \frac{\alpha_s}{4\pi} \int_V \boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}', t) \nabla^2 \left(\frac{1}{r} \right) \mathrm{d}V' = -\alpha_s \int_V \boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}', t) \delta(r - r') \, \mathrm{d}V' = -\alpha_s \boldsymbol{J}.$$

方程(23e)

$$\nabla D = \nabla (\nabla \cdot \boldsymbol{A}) = \nabla \left[\frac{1}{c^2} \frac{\partial \Phi}{\partial t} + D_0(t) \right] = \frac{1}{c^2} \nabla \left(\frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \boldsymbol{G}}{\partial t}.$$

方程(23f)

$$\nabla \times \boldsymbol{C} = \nabla \times (\nabla \times \boldsymbol{A}) \equiv \nabla (\nabla \cdot \boldsymbol{A}) - \nabla^2 \boldsymbol{A} = \nabla D + \alpha_s \boldsymbol{J} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \boldsymbol{G}}{\partial t} + \alpha_s \boldsymbol{J}.$$

卷积方程组与电磁场方程组[15]相似。(23a)式相似于静电高斯定理，(23c)式相似于静磁高斯定理，(23d)式与安培定律相当，(23e)式与麦克斯韦位移电流相当，(23f)式与麦克斯韦-安培定律相当。

3.8 作用方程组

作用场的二阶空间导数有三个公式，构成作用场方程组。

$$\begin{aligned} \nabla^2 \boldsymbol{G} &= -\frac{1}{\phi_s}\nabla\rho, & (24a)\\ \nabla^2 \boldsymbol{C} &= -\alpha_s \nabla\times\boldsymbol{J}, & (24b)\\ \nabla^2 D &= \alpha_s\frac{\partial\rho}{\partial t}. & (24c) \end{aligned}$$

作用场方程推导如下：

方程(24a)

$$\nabla^2\boldsymbol{G} \equiv \nabla(\nabla\cdot\boldsymbol{G}) - \nabla\times(\nabla\times\boldsymbol{G}) = \nabla(\nabla\cdot\boldsymbol{G}) = -\nabla(\rho/\phi_s) = -\nabla\rho/\phi_s.$$

方程(24b)

$$\nabla^2\boldsymbol{C} \equiv \nabla(\nabla\cdot\boldsymbol{C}) - \nabla\times(\nabla\times\boldsymbol{C}) = -\nabla\times(\nabla\times\boldsymbol{C}) = -\nabla\times(\nabla D + \alpha_s\boldsymbol{J}) = -\alpha_s\nabla\times\boldsymbol{J}.$$

方程(24c)

$$\nabla^2 D \equiv \nabla\cdot(\nabla D) = -\frac{1}{c^2}\nabla\cdot\left(\frac{\partial\boldsymbol{G}}{\partial t}\right) = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t}(\nabla\cdot\boldsymbol{G}) = \alpha_s\frac{\partial\rho}{\partial t}.$$

作用场方程是泊松方程。由此可见，质量密度的梯度是梯度场的汇，动量密度的旋度是旋度场的汇，质量密度的时间变化率是散度场的源。只要密度场$\{\rho, \boldsymbol{J}\}$存在，场方程的解必然存在。

3.9 动力学方程

场元的动力(motion forces)定义为动量密度的运动导数，即

$$\boldsymbol{F} := \frac{D\boldsymbol{J}}{Dt} = \frac{\partial\boldsymbol{J}}{\partial t} + \nabla\cdot(\boldsymbol{J}\boldsymbol{v}), \quad F_s = \frac{\rho_s v_s}{t_s}. \tag{25}$$

利用并矢的散度公式可以计算动力

$$\boldsymbol{F} = \frac{\partial\boldsymbol{J}}{\partial t} + \nabla\cdot(\boldsymbol{J}\boldsymbol{v}) = \left(\frac{\partial\rho}{\partial t}\boldsymbol{v} + \rho\frac{\partial\boldsymbol{v}}{\partial t}\right) + (\nabla\cdot\boldsymbol{J})\boldsymbol{v} + (\boldsymbol{J}\cdot\nabla)\boldsymbol{v} = \rho\left[\frac{\partial\boldsymbol{v}}{\partial t} + (\boldsymbol{v}\cdot\nabla)\boldsymbol{v}\right].$$

将上述结果写成牛顿第二定律的形式

$$\boldsymbol{F} = \rho\boldsymbol{a}, \quad \boldsymbol{a} = \frac{\partial\boldsymbol{v}}{\partial t} + (\boldsymbol{v}\cdot\nabla)\boldsymbol{v}; \quad a_s = \frac{F_s}{\rho_s} = \frac{v_s}{t_s}. \tag{26}$$

上式称为流体动力学定理。式中$\partial \boldsymbol{v}/\partial t$称为当地导数，$(\boldsymbol{v}\cdot\nabla)\boldsymbol{v}$称为对流导数。对流导数来源于系统体积的变化。

场元加速的动力来自力场。根据$\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_G+\boldsymbol{F}_C+\boldsymbol{F}_D$可得流体动力学方程

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t}+(\boldsymbol{v}\cdot\nabla)\boldsymbol{v}=\boldsymbol{G}+\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{C}+D\boldsymbol{v}. \tag{27}$$

上式是关于场元速度的偏微分方程。根据连续性定理，$\boldsymbol{F}=0$是场元的动量守恒条件。

4 流场性质

4.1 统一场

实粒子场论的前提是空间存在粒子的质量和动量密度，由此推导出完整的场论公式和方程组。密度场是原始场，速度场、卷积场、作用场、能量场和力场都是衍生场。

流体动力学方程(27)涵盖了纳维-斯托克斯方程和牛顿运动定律。它是关于场元的速度方程，也可以视为单个实粒子的运动方程，在零体积近似下它退化为质点运动定律。

卷积方程组(23)涵盖了麦克斯韦电磁场方程组。如果认为引力和静电力都是梯度力，那么电量与质量等价，电场与梯度等价，磁场与旋度等价，电磁场与散度等价。由于卷积场覆盖了吸引和排斥作用，弱力和强力可以归因于梯度力、旋度力和散度力的综合效应。

作用场方程组(24)可以与爱因斯坦的引力场方程进行比较。与相对论不同，实粒子理论恢复了时间和空间的独立性。但是，作用场$(\boldsymbol{G},\boldsymbol{C},D)$是度规场$(g_{\mu\nu})$的对应物，密度场的变化率是能量-动量张量$(T_{\mu\nu})$的对应物。此外，在质心参照系中实现时空量子化的实粒子场可以归类于非概率性的量子场。可以说，实粒子流场理论是一个统一场理论。

4.2 梯度场

梯度的标度是$G_s=v_s/t_s$，故梯度代表场元的平动加速度。梯度实质上就是引力场，质卷系数ϕ与引力常数g的关系为$g=1/\phi$。质卷系数的数字是4π，动卷系数的数字是$(4\ pi)^{-1}$，因为标度可变，卷积系数不是严格意义上的物理常数。从卷积场方程(23a) 可知，质量密度是质量卷积的源；从作用场方程(24a)可知，质量密度的梯度是梯度场的汇。恒等式(23b)表明梯度是无旋场。

实电子有质量和体积，但是不带电荷。经典电子有质量，带电荷，但是没有体积。如果认为静电场是

梯度场并取消电荷的负性，那么电量与质量有等价关系。假设有一个由经典电子构成的均匀球，其质量是M，电量是Q。一个球外电子受到该球的引力和静电力分别是F_M和F_Q。

$$F_M = -g\frac{M_e M}{r^2}, \qquad F_Q = -\frac{1}{\epsilon}\frac{Q_e Q}{r^2}. \tag{28}$$

其中$g = 6.6742867 \times 10^{-11}\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{kg}^{-2}$是万有引力常数，$\epsilon = 4\pi\epsilon_s$，$\epsilon_s = 8.8541877 \times 10^{-12}\mathrm{C}^2\cdot\mathrm{N}^{-1}\cdot\mathrm{m}^{-2}$是真空介电常数，$M_e = 9.1093821 \times 10^{-31}\mathrm{kg}$是电子质量，$Q_e = 1.6021765 \times 10^{-19}\mathrm{C}$是电子电量。引入介电常数与质卷系数比率$\theta = \epsilon/\varphi = \epsilon g = 7.4261454 \times 10^{-21}\mathrm{C}^2\cdot\mathrm{kg}^{-2}$，以及电子的质量-电荷比$\sigma = M_e/Q_e = 5.6856296 \times 10^{-12}\mathrm{kg}\cdot\mathrm{C}^{-1}$。让静电力等于引力，则可确定电量和质量的等价关系。

$$Q = (\epsilon g\sigma)M = (\theta\sigma)M. \tag{29}$$

其中$(\theta\sigma) = 4.2222312 \times 10^{-32}\,\mathrm{C}\cdot\mathrm{kg}^{-1}$。进而可知，静电势与质量卷积的关系为$\Phi_e = \sigma\Phi$，电场与梯度的关系是$\boldsymbol{E}_e = \sigma\boldsymbol{G}$。一个场元受到的梯度力是$\boldsymbol{F}_G = \rho\boldsymbol{G}$，与之等效的静电力是$\boldsymbol{F}_e = (\theta\sigma^2)\boldsymbol{F}_G$。

4.3 旋度场

旋度的标度是$C_s = \nu_s$，故旋度代表场元的转动频率。因为电量与质量等价，故电流密度与动量密度等价$\boldsymbol{J}_e = (\theta\sigma)\boldsymbol{J}$。这时，磁势与动量卷积的关系是$\boldsymbol{A}_e = \sigma\boldsymbol{A}$，磁感应强度与旋度的关系是$\boldsymbol{B}_e = \sigma\boldsymbol{C}$。一个场元受到的旋度力是$\boldsymbol{F}_C = \boldsymbol{J}\times\boldsymbol{C}$，它使场元产生轨道转动。与$\boldsymbol{F}_C$等效的洛伦兹力是$\boldsymbol{F}_m = (\theta\sigma^2)\boldsymbol{F}_C$。从卷积场方程(23d)可知，动量密度是动量卷积的汇；从作用场方程(24b)可知，动量密度的旋度是旋度场的汇。恒等式(23c)表明旋度是无散场。

4.4 散度场

散度的标度是$D_s = \nu_s$，它代表场元的振动频率。一个场元受到的散度力是$\boldsymbol{F}_D = \rho D\boldsymbol{v}$，它使场元产生轨道振动。与$\boldsymbol{F}_D$等效的电散度力是$\boldsymbol{F}_d = (\theta\sigma^2)\boldsymbol{F}_D$。根据作用场方程(24c)，质量密度的变化率是散度场的源。

适合散度场的基本标度是：频率$\nu_s = \nu$，速度$v_s = c$(信号速率)，角动量$h_s = h$(普朗克常数)。导出标度有：时间$t_s = 1/\nu$，空间$r_s = c/\nu = \lambda$，动量$p_s = h/\lambda$，质量$M_s = h/(\lambda c)$，能量$E_s = h\nu$。现引入行波的宗量$\eta = \boldsymbol{\kappa}\cdot\boldsymbol{r} - \omega t$，其中$\omega = 2\pi\nu$，$\boldsymbol{\kappa} = \nabla\eta$，$\kappa = |\boldsymbol{\kappa}| = 2\pi/\lambda$。可以证明，对于任意正函数$W(\eta)$和$W_0(t)$，卷积$\{\Phi', \boldsymbol{A}'\}$是散度方程的解。

$$\Phi'(\eta, t) = -W(\eta) - W_0(t), \quad \boldsymbol{A}'(\eta) = \frac{\boldsymbol{\kappa}}{\omega}W(\eta). \tag{30}$$

根据(20c)式分别计算散度，有

$$D = \nabla\cdot\boldsymbol{A}'(\eta) = \left(\frac{\boldsymbol{\kappa}}{\omega}\right)\cdot\left(\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}\eta}\nabla\eta\right) = \frac{\kappa^2}{\omega}\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}\eta}. \tag{31a}$$

$$D = \frac{1}{c^2}\frac{\partial\Phi'}{\partial t} + D_0(t) = \frac{1}{c^2}\left(\omega\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}\eta} - \frac{\mathrm{d}W_0}{\mathrm{d}t}\right) + D_0(t). \tag{31b}$$

上面两式相等的条件是

$$c = \frac{\omega}{\kappa} = \lambda\nu, \qquad D_0(t) = \frac{1}{c^2}\frac{\mathrm{d}W_0}{\mathrm{d}t}. \tag{32}$$

由此可见，散度方程包含行波解，波速c就是用于时间同步的信号速率。所以，必须采用散度波作为时间同步的信号载体，用散度波频率ν的倒数作为时间标度，相应的波长$\lambda = c/\nu$ 作为空间标度。D_0是从边界流出的散度，若$D_0 = 0$，表明系统的能量守恒，没有能量流出系统。

4.5 物体结构

公设I和II定义了物体的嵌套结构：物体包含实粒子，实粒子也是物体。它们具有共同的属性(质量、体积和弹性)，但属于不同的结构层次。物体的层次嵌套结构可以用粒子集族表示为[5,7]

$$\text{顶子} \supseteq \text{间子} \supseteq \text{基子} \supseteq \text{隐子}$$

顶子(topson)、间子(midson)、基子(bason)和隐子(hidson)分别用于命名位于顶层(top level)、中间层(middle level)、基础层(basic level)和隐蔽层(hidden level)的粒子。上层粒子包含下层粒子，下层粒子是上层粒子的子集。在实粒子场论中，流体系统是顶子，场元是间子，流体粒子是基子，隐子是构成基子的下层粒子。若粒子参数的集合是{数量, 质量, 体积}，那么顶子的参数是$\{1, M, V\}$，间子的参数是$\{\tilde{V}, M_\alpha, V_s\}$。基子的参数是$\{N, M_i, -\}$，基子的体积不用指定。隐子的运动是基子弹性的来源，计算中不涉及它们的数量、质量和体积。

迄今为止，不能被现代技术手段分解的实粒子只有电子和质子。电子e和质子p称为原始粒子(primitive particles)。原始粒子用集合表示为$A = \{e, p\}$，其幂集是$P(A) = \{\varnothing, \{e\}, \{p\}, \{e, p\}\}$。幂集中$\varnothing$代表粒子间的空隙，$\{e\}$代表电子集合，$\{p\}$代表质子集合，$\{e, p\}$代表中子集合。逻辑上可以推断：任意流场都由幂集$P(A)$的子集构成，实空间(包括所谓真空)充满一种电子流体$\{\varnothing, \{e\}\}$。流场中的光速取决于电子的物理性质和在流体中的密度分布，声速取决于质子的物理性质和在流体中的密度分布。

4.6 暗物质

现代宇宙学认为星系被暗物质(dark matter)所包裹，宇宙被暗能量(dark energy)所渗透[16]。在实粒

子理论中，我们将星际空间的电子流体称为暗物质，它们的运动能量称为暗能量[8]。无处不在的电子流体尚未被人类知晓，但却占据着浩瀚宇宙的主要质量，并在暗中控制着可见星体的运动和演化。

让我们估算暗物质的密度。辐射到地球的太阳光是穿过电子流体的波。因为电子束的速度远远低于光速，所以太阳光谱包含紫外线而截止于X-射线。紫外线与X-射线之间的波长界限是$\lambda_c = 0.01\mu$m，它对应的场元体积是$\lambda_c^3 = 10^{-24}\,\mathrm{m}^3$。因为一个场元必须包含一个以上的电子，所以电子流体数密度的下限是$n_c = \lambda_c^{-3} = 2\times 10^{24}\,\mathrm{m}^{-3}$，质量密度的下限是$\rho_c = n_c M_e = 1.82\times 10^{-6}\,\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^{-3}$。$\rho_c$远小于标准大气压下空气的质量密度($\simeq 1.2\ \mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^{-3}$)，故人们难以察觉到电子流体的存在。

让我们估计太阳系中暗物质的质量。以海王星轨道为边界，太阳系的半径是$R_0 = 4.4984\times 10^9$km。在这个范围内电子流体的质量是$M_D = (4/3)\pi\rho_c R_0^3 = 6.94\times 10^{32}$kg。太阳加上八大行星的质量为$M_S = 1.9912\times 10^{30}$kg，故太阳系中暗物质至少占总质量的99.7%。计及电子流体的质量以后，行星运动对太阳系质心的影响很小。

静态流体不支持剪切应力，故电子流体的存在不影响宏观物体的运动。电子流体的压缩模量可以根据流体波速公式估计。计算流体波速的牛顿-拉普拉斯公式是$c = \sqrt{K/\rho}$，其中ρ是流体密度，K是流体的压缩模量[17]。因此，电子流体的压缩模量不小于$K_c = \rho_c c^2 = 163$GPa，这比水的压缩模量($\simeq 2.18$GPa)大两个数量级。

4.7 光子特性

光波是电子流体中的行波，电子流体是传递光波的介质。虽然电子流体的质量密度极小，人们可以通过光波感知它的存在。光子是电子流场的场元，它具有质量、体积和形状。光子具有空间局域性，其质心的位移不大于波长。光子之间通过光波以光速相互关联，没有超距作用。在传递光波的过程中，光子受激振动，同时发射子波。光子发出的子波是球面波，这是衍射光学的物理基础。

一个光子的体积是$V_s = \lambda^3 = (c/\nu)^3$，包含电子数$N_c = n_c V_s$，质量$M_c = \rho_c V_s$和能量$E_s = h\nu$。光子单位体积的能量是

$$Y_s = \frac{E_s}{V_s} = \frac{h\nu^4}{c^3}. \tag{33}$$

Y_s是光子的弹性模量，它正比于频率的四次方。作为传递光波的介质，光子的硬度随着波长的减小而迅速增加。以蓝光($\lambda_B = 450$ nm)和红光($\lambda_R = 650$ nm)为例，表1列出了两种光子的物理特性参数.

表1　典型蓝光和红光的特性

Table 1. The performance of typical blue and red photons

光　子	蓝光(450nm)	红光(650nm)
电子数 N_c	1.82250×10^5	5.49250×10^5
质　量 M_c(kg)	1.65848×10^{-25}	4.99818×10^{-25}
能　量 E_s(J)	4.41432×10^{-19}	3.05607×10^{-19}
弹性模量 Y_c(Pa)	4.84425	1.11282

由此可见，低频光子大而软，高频光子小而硬。电子流体的特性和历史上的引力以太或光以太十分相像：密度巨大，质量极小；不可压缩，毫无阻力；无处不在，难以察觉。

4.8 黑体辐射

光子的能级是

$$E_n = nE_s = nh\nu, \qquad n = 1, 2, 3, \cdots \tag{34}$$

$n = 1$是光子的基态。体积为V的系统有光子数$\tilde{V} = V/\lambda^3 = V(\nu/c)^3$，故基态光子的能量密度是

$$U_1 = \frac{E_1\tilde{V}}{V} = \frac{h\nu^4}{c^3} = Y_s. \tag{35}$$

可见光子的弹性模量等于基态光子的能量密度。U_1按照频率的分布是

$$\rho(\nu) = \frac{\mathrm{d}U_1}{\mathrm{d}\nu} = \frac{4h\nu^3}{c^3}. \tag{36}$$

热平衡状态下的系统温度是$T = (k_B\beta)^{-1}$，k_B是玻尔兹曼常数。根据玻尔兹曼分布，光子处于能级E_n的概率是$P_n(\beta,\nu) \propto e^{-\beta E_n}$，所以包含全部能级的概率分布是

$$P(\beta,\nu) = a\sum_{n=1}^{\infty} e^{-\beta E_n} = a\sum_{n=1}^{\infty} e^{-n\beta h\nu} = \frac{a}{e^{\beta h\nu} - 1}. \tag{37}$$

其中a是归一化系数。这时，包含全部能级的光谱密度是

$$\rho(\beta,\nu) = P(\beta,\nu)\rho(\nu) = \frac{4ah}{c^3}\frac{\nu^3\,\mathrm{d}\nu}{e^{\beta h\nu} - 1}. \tag{38}$$

上式即著名的普朗克公式[18]。与标准黑体辐射公式比较可知归一化系数为$a = 2\pi$。

宇宙学观察证明，宇宙微波背景(CMB)相当于温度为$T_0 = 2.72548$K的黑体辐射[18]。如果将CMB解释为电子流体的热平衡辐射，那么表明电子流体在宇宙中密度均匀，没有宏观流动。电子流体的均匀密度是星际空间光速不变的物理原因。

4.9 量子本质

在实粒子场论中，量子的实体是流体场元。它包含许多流体粒子，并不是最小粒子单元。例如电子流体的场元是光子，一个可见光的光子至少包含10^5个电子。在实粒子统计理论中，量子实体称为团簇[7]。团簇是由较少数量的粒子组成的物体。团簇有平动、转动和振动三种运动模式。团簇的平动表现为量子的粒子性，振动表现为量子的波动性，转动则是量子自旋的根源。

时间和空间的长度在质心参照系中是量子化的。这一事实表明，量子随机性并不局限于微观领域，因此有必要重新考虑量子力学的诠释。考虑一个由双星O_1和O_2构成的团簇，它们围绕共同质心O_c以相同的周期τ转动。在质心为极点的极坐标中，两个星体有确定的椭圆轨道[19,20]

$$r_i(\theta) = a_i - d_i \cdot \cos(\theta + i\pi); \quad i = 1, 2. \tag{39}$$

其中$\theta = \omega t$是极角，$\omega = 2\pi/\tau$是角频率。a_i同时表示半长轴和轨道转动半径，而d_i同时表示半焦距和轨道振动幅度。以O_1为观察点，轨道方程可以表示为

$$r(t) = a - d \cdot \cos(\omega t); \quad r = r_2 + r_1,\ a = a_1 + a_2,\ d = d_1 + d_2. \tag{40}$$

其它天体的存在可能会改变轨道形状并导致高频振动。引入振动因子m，可将轨道方程修改为

$$r(t) = a - d \cdot \cos(m\omega t). \qquad m = \pm 1, \pm 2, \cdots \tag{41}$$

在这种情况下，$m\omega$表示轨道振动的角频率。为了满足周期性条件$r(\theta + 2\pi) = r(\theta)$，振动因子必须是整数。修改后的轨道方程不包括$m = 0$时的圆形轨道，但包括$m = \pm 1$时的椭圆形轨道。椭圆轨道称为基态，而$|m| > 1$的修正轨道称为激发态。在一个周期内，时间不确定性为$t_s = \tau$，空间不确定性为$r_s = d$。修正的轨道方程可以约化为无标度形式

$$\tilde{r} + \cos(m\tilde{\omega}\tilde{t}) = \tilde{a}. \qquad \tilde{a} = 2, 3, 4, \cdots; \quad m = \pm 1, \pm 2, \cdots \tag{42}$$

由此可见，轨道的转动和振动都是量子化的。

如果不能确定质心的位置，那么轨道的几何参数也难以确定。这时我们搁置轨道描述，转而考虑团簇的能量和动量分布。为此，我们给出双星轨道的转动能量L和振动能量H

$$L = L_1 + L_2 = \frac{1}{2}\mu(\omega a)^2 = \frac{p^2}{2\mu}, \qquad p = \mu\omega a; \tag{43a}$$

$$H = H_1 + H_2 = \frac{1}{2}\mu(m\omega d)^2 = \frac{1}{2}sd^2, \quad s = \mu(m\omega)^2. \tag{43b}$$

上式中$\mu = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$是团簇的约化质量，$p$是轨道转动量，$s$是团簇的弹性系数。这时，双星团簇具有势

能$U = H - L$，振动能$H = L + U$等价于系统哈密顿。

为了建立轨道参数$\{a, d, m, \omega\}$和运动参数$\{p, H\}$之间的关系，我们将轨道方程(42)的左端映射到一个复平面，并用一个复函数ψ表示为

$$\psi(\tilde{r}, \tilde{t}) = A_{\tilde{p}}(\tilde{r}) e^{2\pi j(\tilde{p}\tilde{r} - \tilde{H}\tilde{t})}, \qquad \psi(r, t) = A_p(r) e^{2\pi j(pr - Ht)}. \tag{44}$$

ψ称为轨道态函数。从方程(42)到(44)的映射关系为

$$f : \{\tilde{r} \to \tilde{r}, \tilde{t} \to \tilde{t}, \tilde{\omega} \to \tilde{p}, m\tilde{\omega} \to \tilde{H}, \tilde{a} \to A_{\tilde{p}}\} \tag{45}$$

量子力学教科书说，轨道状态函数服从由下式给出的薛定谔方程[21]

$$j\hbar_s \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar_s^2}{2\mu} \nabla^2 \psi + U(r)\psi, \qquad \hbar_s = \frac{h_s}{2\pi}. \tag{46}$$

h_s是系统角动量的标度，取势函数$U(r) = -gM_1M_2/r$，团簇的本征方程为

$$-\frac{\hbar_s^2}{2\mu} \nabla^2 \psi - \frac{e_0^2}{r} \psi = H\psi, \qquad e_0^2 = gM_1M_2. \tag{47}$$

解此方程可以得到平面轨道的能量本征值[21]

$$H_{nm} = \frac{\mu e_0^4}{2\hbar_s^2 (n + |m| + 1/2)^2}, \quad n = 0, 1, 2, \cdots \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots \tag{48}$$

在这个公式中，m表示磁量子数，n表示径向量子数。通过对比可知，磁量子数与振动因子关联，而径向量子数与轨道半径关联。这个结果表明量子态函数是确定性轨道的随机性描述。运用粒子动力学理论可以进一步证明椭圆轨道是动力平衡系统的本征态[22]。

5 结 语

实粒子理论是一个公理化体系，基于质心参照系的实粒子场论是一个新的范式。新范式中的粒子是弹性物体，弹性物体质心的不确定性导致量子随机性。然而，这种随机性可以通过测量原理加以消除，从而表明物理规律具有确定性和普适性。

电磁场方程组与卷积方程组的高度相似性表明电磁场起源于粒子密度场，电磁场本质上是粒子作用场。作用场对场元的作用通过力场（梯度力、旋度力和散度力）表现，力场应该包含四种基本相互作用（引力、电磁力、强力和弱力）。应用流场作用原理创建粒子动力学理论无疑是一项十分重要和急迫的任务[22].

实粒子场论的一个逻辑推论是宇宙空间渗透电子流体，它是传递引力和光波的介质。电子流场的场元是光子，光子具有有限的质量、一定的体积和特定的形状。电子流体自身的热辐射是产生宇宙微波背景(CMB)的原因。CMB的黑体性质表明宇宙中电子流体具有均匀的密度，这是光速不变的物理原因。电子流体的数密度和压缩模量巨大，足以传递引力；质量密度和剪切模量极小，难以被人察觉。但是，人类通过光波可以真切感知它的存在，天体的运动也受到它在暗中控制。宇宙电子流体的存在改变了现存物理定律的形式，也将颠覆人们对物理世界的传统认知。

参考文献

[1] Cheng S Z, Jiang Z Y 2022 General Physics (Beijing: Higher Education Press). [程守洙,江之永 2022 普通物理学(第8版) (北京: 高等教育出版社)]

[2] Einstein A (translated by Hao L) 2014 The meaning of relativity (Beijing: Peking University Press). [爱因斯坦 A 著(李灏译) 2014 相对论的意义(北京: 北京大学出版社)]

[3] Liang Z C 2020 Outline of real physics. *Glob J Sci Front Res* **20** (3A) 9 https://doi.org/10.34257/gjsfravol20is3pg9

[4] Liang Z C 2019 Modeling of real particles. *J Phys (Conf Ser)* **1391** 012026 https://doi.org/10.1088/1742-6596/1391/1/012026

[5] Liang Z C 2019 Motion, energy, and state of body particle system. *Theor Phys* **4** 66 https://doi.org/10.22606/tp.2019.42003

[6] Liang Z C 2019 The origin of gravitation and electromagnetism. *Theor Phys* **4** 85 https://doi.org /10.22606/tp.2019.42004

[7] Liang Z C 2019 Cluster ensemble statistics of body particle system. *New Hori Math Phys* **3** 53 https://doi.org/10.22606/nhmp.2019.32002

[8] Liang Z C 2021 Dark matter and real-particle field theory. *Glob J Sci Front Res* **21**(6A) 27 https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26655.28327/1

[9] Kuhn T S (translated by Zhang B T) 2012 The Structure of Scientific Revolutions (Beijing: Peking University Press) [库恩 T 著(张卜天译) 2012 科学革命的结构(北京: 北京大学出版社)]

[10] Jin S N, Ma Y L 2002 Theoretical Mechanics (Beijing: Higher Education Press)(in Chinese). [金尚年,马永利 2002 理论力学(北京: 高等教育出版社)]

[11] Deng H W 2008 Linear Algebra (Beijing: Tsinghua University Press) [邓辉文 2008 线性代数(北京: 清华大学出版社)]

[12] Liang Z C 2015 Physical Principles of Finite Particle System (Wuhan: Scientific Research Publishing) . [梁忠诚 2015 有限粒子系统的物理基础(武汉：科研出版社)]

[13] Wikipedia contributors. (2024, May 26). Metric system. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved May 30, 2024

[14] Guo S H 2008 Electrodynamics (Beijing: Higher Education Press). [郭硕鸿 2008 电动力学(北京: 高等教育出版社)]

[15] Overduin J M and Wesson P S 2003 Dark Sky, Dark Matter (Bristol: Institute of Physics Pub.)

[16] Wikipedia contributors. (2024, February 24). Bulk modulus. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 15:47, May 29, 2024

[17] Planck M 1900 Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum. *Verhandl Dtsch phys Ges* **2** 237.

[18] Fixsen D J 2009 The temperature of the cosmic microwave background. *Astrophys J* **707** (2) 916 https://doi.org/10.1088/0004-637X/707/2/916

[19] Liang Z C, Xie L H 2023 Wave or particle? Quantum behavior of solar system. *Glob J Sci Front Res* **23** (7A) 9 https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2891785/v1

[20] Liang Z C, Chen N N 2023 The distortion and quantization of the earth's orbit. *J Phys Chem Biophys* **13** 361 doi:10.35248/2161-0398.23.13.361

[21] Qian B C 2006 Quantum Mechanics (Beijing: Higher Education Press). [钱伯初 2006 量子力学(北京: 高等教育出版社)]

[22] Liang Z C 2024 A physical theory based on barycenter reference frames II. Principles of particle dynamics. Preprint

A physical theory based on barycenter reference frames

I. Principles of particle flow fields

Liang Zhong-Cheng[1)†]

1 (*College of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China*)

Abstract

In this paper, a new theory of particle flow fields is introduced. Instead of using the mass-point model and inertial reference frames, this theory is based on the real-particle (elastic particle) model and barycenter reference frames. This article applies vector analysis to derive a complete set of field equations in a space permeated with moving particles. It reveals a comparable connection between charge and mass within the barycenter reference framework, thereby merging the interactions of gravitation and electromagnetism. The article argues that quantum randomness originates from the uncertainty associated with time and space measurements in barycenter frames. However, this uncertainty can be eliminated by the principle of measurement, leading to deterministic conclusions. The proposed theory provides unique solutions and interpretations for various fundamental physics problems, such as the structure of objects, the existence of dark matter, the nature of light, and the phenomenon of black-body radiation. Notably, the presence of a cosmic electronic fluid challenges our conventional understanding of the physical world and has significant implications for existing physical laws.

Keywords: barycenter reference system, particle flow fields, elastic particles, quantum uncertainty, electronic fluid, unified field theory.

PACS: 12.10.-g, 95.10.Jk, 47.10. - g, 04.20.Cv

---

† Corresponding author. E-mail: zcliang@njupt.edu.cn